Journal of Applied Biosciences 56: 4066– 4074

ISSN 1997–5902

Aptitude des eaux du bassin de la Grande Sebkha d'Oran à l'irrigation

Benziane Ahmed[1] , **Boualla Nabila** [1], **Derriche Zoubir**[2],

(1)Laboratoire de Matériaux, Sols & Thermique (Section Géologie Appliquée) / Faculté d'Architecture et de Génie Civil /UST Oran.

(2)Laboratoire physico-chimique des Matériaux / Catalyse / Environnement / Faculté des Sciences de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran –Mohamed Boudiaf (USTO). Tel: 213 41 56.03.33 / 213 41 56.03.16 / 213 41 56.03.77. Fax: 213 41 56.03.19. BP 1 505 31 000 Oran (Algérie).

Correspondence e-mail: ah.benziane@gmail.com , nibrasnabila@yahoo.fr

Original submitted in on 8th May 2012. Published online at www.m.elewa.org on August 30th 2012.

RESUME

Objectif : L'approvisionnement en eau d'irrigation dans le bassin versant de la Grande Sebkha d'Oran constitue un facteur déterminant dans la production agricole, aussi bien en intensification des cultures qu'en extension des surfaces irriguées. La pénurie d'eau allouée à l'agriculture a contraint les agriculteurs à privilégier l'utilisation des eaux souterraines de qualité médiocre. Cette utilisation ne sera pas sans conséquences sur la dégradation des sols. Les risques de leur salinisation se font sentir. Une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire. Les risques qu'encourt le bassin imposent une bonne connaissance des régimes hydrique et salin afin de pouvoir assurer une durabilité dans l'utilisation des ressources en eau et des sols.

Méthodologie et résultats : Le bassin de la Grande Sebkha d'Oran est situé dans le Nord Ouest de l'Algérie où domine un climat semi-aride à aride. Pour étudier la qualité des eaux souterraines en période sèche, un réseau d'échantillonnage a été choisi en vue d'acquérir des données représentatives sur sa variabilité spatiale et temporelle. Sur un nombre de 93 points d'eau inventoriés, 58 points, assez bien répartis autour du lac salé, ont été sélectionnés pour constituer notre réseau d'échantillonnage. Les prélèvements ont été effectués durant une période relativement courte, du 4 au 20 juillet 2011. Les paramètres analysés sont les caractéristiques physico-chimiques (température, pH, conductivité, salinité) mesurées *in situ* et le dosage des composants majeurs (RS, Cl^-, SO_4^{--}, HCO_3^-, NO_3^-, Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+), opéré au laboratoire, en vue d'une caractérisation chimique du système aquifère. Les résultats de l'analyse révèlent une zonation assez variable du taux de salinité des eaux. Ainsi les eaux de la bordure Nord de la sebkha correspondant au couloir Misserghin-Brédéah s'avèrent les plus salées. La zone située à l'extrême Est du lac présent des valeurs moins élevées. Les sols du pourtour du lac sont dominés par une classe de salinité comprise entre 1,47 et 23,73 dS/m de CE (conductivité électrique).

Conclusion: Selon la valeur moyenne de la CE (6,064 dS/m) et du SAR (Sodium Absorption Ratio), l'eau d'irrigation est d'une forte salinité avec une qualité mauvaise. Cette eau est qualifiée, de façon générale, d'autant plus mauvaise que les sols à irriguer sont lourds. Ce qui caractérise assez souvent les sols du pourtour de la sebkha. Les valeurs moyennes situent ces eaux dans les classes C4-S1 et C5-S1. Le risque est double: disponibilité de l'eau insuffisante pour la plante et sodicité.

Mots-clés : eau, sol, irrigation, qualité, salinité.

Capability of the water of Great Sebkha basin of Oran for irrigation

Abstract:

Objective: The supply of irrigation water in the watershed of the Great Sebkha Oran is a major factor in agricultural production, as well as intensification of irrigated areas in extension. The shortage of water allocated to agriculture has forced farmers to promote the use of poor quality groundwater. This use is not without consequences on soil degradation. The risks of salinization are felt. A study of suitable water for irrigation was necessary. The risks facing the pool needed a good knowledge of water and salt regimes in order to ensure sustainability in the use of water resources and soil.

Methodology and results: The Great Basin Sebkha Oran is located in the North West of Algeria dominated by a semi-arid to arid. To study the groundwater quality in the dry season, a sampling grid was chosen to acquire representative data on the spatial and temporal variability. On a number of 93 water points surveyed, 58 points rather well distributed around the salt lake, were selected to form our sampling network. The samples were taken during a relatively short period, from 4 to 20 July 2011. The parameters analyzed were the physico-chemical characteristics (temperature, pH, conductivity, salinity) measured in situ and determination of major components (RS, Cl-, SO4 -, HCO3-, NO3-, Ca + +, Mg + +, Na +, K +), made in the laboratory for chemical characterization of the aquifer. The results of the analysis show a zone of quite variable saline waters. And the waters of the northern edge of the corridor corresponding to sabkha-Misserghin Brédéah were the most salty. The area at the eastern end of the lake had lower salinity values. Soils surrounding the lake were dominated by a class of salinity between 1.47 and 23.73 dS / m EC (electrical conductivity).

Conclusion: According to the average value of the EC (6.064 dS / m) and SAR (Sodium Absorption Ratio), the irrigation water is highly saline with a poor quality. This water is described, in general, even worse than the irrigated soils. The mean values in these waters were in classes C4 and C5-S1-S1. The risk is twofold: inadequate availability of water for the plant and sodicity.

Keywords: water, soil, irrigation, quality and salinity.

INTRODUCTION

L'évaluation de la qualité des eaux utilisées pour l'irrigation à l'échelle proposée par Durand, 1958 dans (Khachaï, 1999), et Van Hoorn dans (FAO, 1971), pour les sols irrigués en Algérie, montre que la plupart des eaux sont très salées. Pour que cette eau soit utilisable, il faut que le taux de Na soit inférieur à 60%. Cette valeur représente le seuil maximum admissible pour l'usage agricole. Pour combler le déficit en eaux des cultures, les pouvoirs publics ont aménagé en Algérie de grands périmètres irrigables. L'approvisionnement en eau d'irrigation constitue un facteur déterminant dans la production agricole, aussi bien en intensification des cultures qu'en extension des surfaces irriguées. Dans le bassin de la Grande Sebkha d'Oran, à vocation agricole, le système d'irrigation utilisé, la plupart du temps, est de type goutte-à-goutte. La pénurie d'eau allouée à l'agriculture, a contraint les agriculteurs à privilégier l'utilisation des eaux souterraines de qualité médiocre. Leur utilisation ne sera pas sans conséquences sur la qualité des sols. La salinisation du bassin est d'abord primaire, comme pour la plupart des sols du Maghreb. Une salinisation secondaire apparaît ensuite avec comme principales causes:

- la stagnation d'eau en surface dans le cas de sols à mauvais assainissement et drainage lorsqu'il existe ;
- la recharge de la nappe par les eaux usées de drainage ;
- la remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration ;
- l'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de sodification ;
- l'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement ;

- la pollution des sols par l'utilisation abusive et non rationnelle des engrais et pesticides ;
- la compaction des sols ;
- les pertes de matière organique ;
- l'acidification des sols.

Les risques de salinisation des sols se font déjà sentir ; une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire. Une bonne connaissance des bilans hydrique et salin du bassin est indispensable pour pouvoir assurer une durabilité d'utilisation des ressources en eau et en sols.

METHODOLOGIE

Les études géologiques effectuées dans le bassin de la Grande Sebkha d'Oran ont mis en évidence une structure constituée de deux grands ensembles : un substratum ante-nappe formé au Nord par les massifs à schistosités autochtones (Djebel Murdjadjo) et au Sud par un complexe d'unités allochtones (nappes tellienne) des Monts des Tessala (Figure 1). L'ensemble de la série lithostratigraphique s'étend du Mésozoïque au Quaternaire. Les différentes formations présentent des variations latérales d'épaisseur et de faciès. Dans cette ensemble, différente couche aquifère ont été mises en évidence. La minéralisation des eaux est en rapport direct avec la nature des couches du système aquifère.

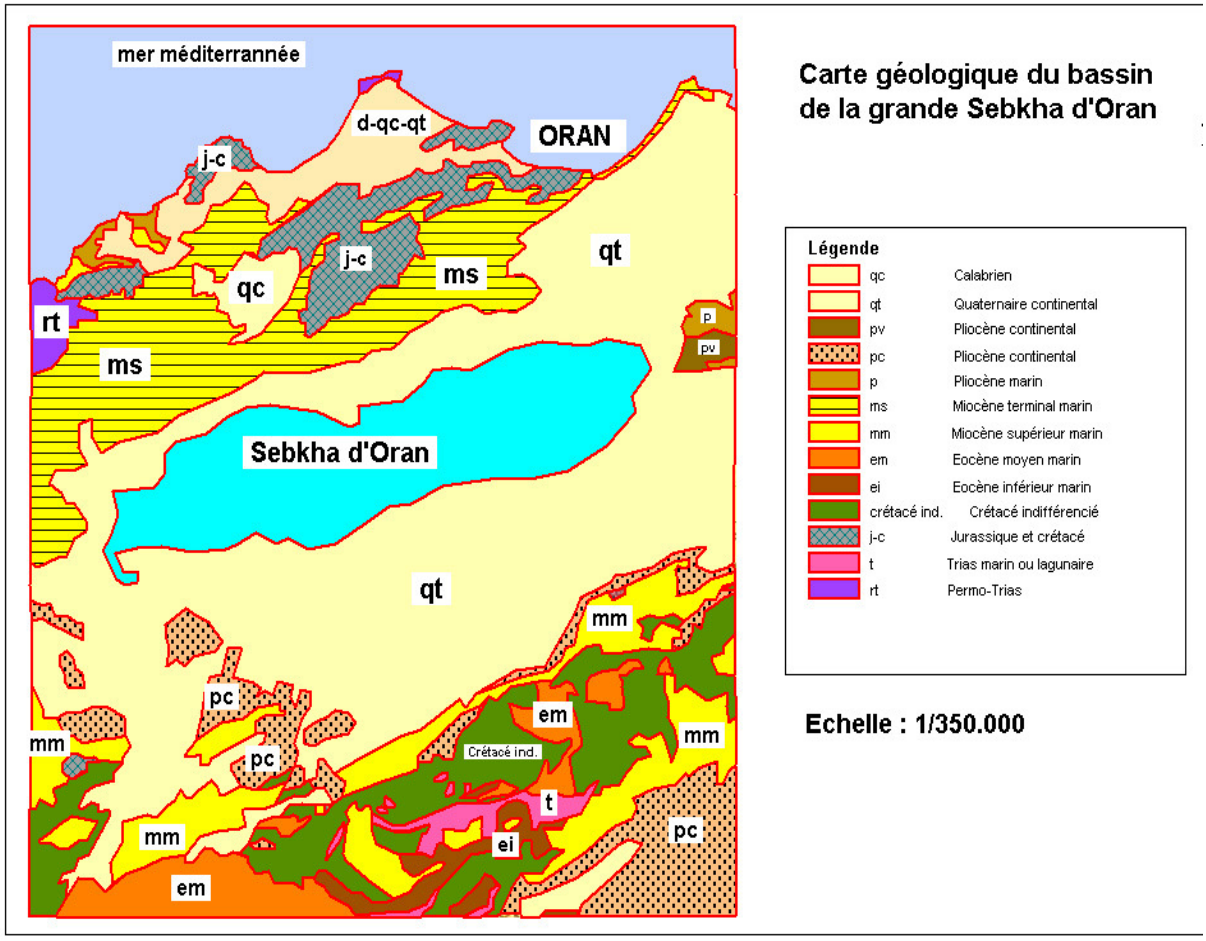

Figure 1 : Carte géologique du bassin de la Grande Sebkha d'Oran (SOGREAH, 2004)

Pour les besoins du projet, 93 points d'eau consistant en des puits, forages, sources et oueds, ont été inventoriés. 58 d'entre eux ont été sélectionnés pour constituer le réseau d'échantillonnage. La campagne de prélèvement des échantillons d'eau a eu lieu durant l'étiage. Elle s'est étalée sur une période relativement courte (du 4 au 20 juillet 2011). La caractérisation géochimique a porté sur la mesure, *in situ,* des paramètres physico-chimiques (température, pH, salinité, conductivité électrique) et le dosage, au laboratoire, des composants majeurs(résidu sec, anions chlorure Cl^-, sulfate SO_4^{--}, bicarbonate HCO_3^-, nitrate NO_3^- et cations calcium Ca^{++}, magnésium Mg^{++}, sodium Na^+, potassium K^+.

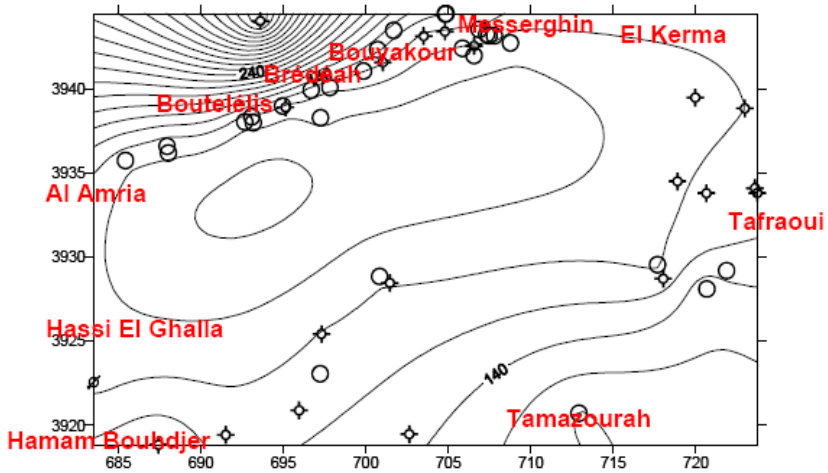

Figure 2 : Localisation des points de prélèvement

RESULTATS ET DISCUSSION

Dans la présente approche, nous avons effectué une estimation de quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour la période de traitements et les risques éventuels de dégradation des sols dans le bassin de la Grande Sebkha d'Oran. La détermination de la CE et du SAR s'est déroulé simultanément avec la campagne d'échantillonnage (Tableau 1).

Tableau 1 : Composition chimique moyenne des eaux dans le bassin de la Grande Sebkha d'Oran (Boualla, 2011)

Paramètre	Unité	Moy.	Min.	Max.
Ca^{++}	mg/l	321	183	740
Mg^{++}		177	99	405
Na^+		1811	3	6854
K^+		19	6	61
Cl^-		1780	131	6480
SO_4^{--}		631	406	1662
HCO_3^-		327	152	714
NO_3^-		27	3	112
pH		6,8	5,1	7,6
CE	dS/m	6,06	0,98	15,82
SAR	méq/l	19,89	0,04	59,65

Les eaux d'irrigation du bassin de la Grande Sebkha d'Oran sont caractérisées par des conductivités qui varient selon les saisons et les conditions climatiques. En effet pendant la période d'étiage (période de prélèvement de notre échantillonnage), l'élévation de la température favorise l'évaporation des eaux de surface et l'évapotranspiration des eaux souterraines, ce qui se traduit souvent par une augmentation progressive de la salinité des solutions de la zone non saturée. Les eaux peu salées dont la conductivité électrique est inférieure à 200µS / cm ont une forte tendance à mobiliser rapidement le calcium du sol, ce qui favorise la dispersion des particules et l'obturation des espaces poreux (Ayers & Westcot, 1988). Ce problème ne pourrait avoir lieu dans la zone étudiée puisque la valeur minimale mesurée dépasse largement les 200µS/cm. L'irrigation avec une eau chargée en sel dissous devrait être pratiquée avec beaucoup de précaution. En l'absence d'un réseau de drainage adéquat, toute utilisation de ce type de ressource qui ne prévoit surtout pas un lessivage fréquent des sols irrigués, conduirait à une salinisation progressive et provoquerait une baisse sensible de la productivité agricole, voire même une perte irréversible de sols fertiles. Il s'agit ici de perte en termes de production, c'est-à-dire que lorsque la salinisation du sol augmente, suite à une irrigation inappropriée avec des eaux chargées, sa productivité baisse. On peut s'attendre à des chutes de rendements de certaines cultures pratiquées au niveau de la zone d'étude (Ayers & Westcot, 1988). Un volume d'eau d'irrigation de 5 500m^3/ha/an apporte 2 tonnes/ha en équivalent de NaCl (S.A.S.M.A., 1989). Cependant, la saison hivernale connaît une période de dilution des eaux d'irrigation par les eaux de pluie. Le SAR révèle des niveaux de sodicité compris entre 0,04 et 59,65, alors que des valeurs supérieures à 15 sont déjà considérées comme dangereuses. Ces valeurs croient de l'amont vers l'aval, ce qui permet de dire que les eaux se chargent en sodium au fur et à mesure de leur progression vers la zone de décharge du lac salé de la sebkha. On remarque une dépendance croissante en fonction de la salinité, ce qui tend à réduire l'effet déstructurant de l'eau vis-à-vis du complexe absorbant (Oster & Shainberg, 2001). La classification selon le diagramme de Richards (figure 2), a pu dégager la présence de deux classes dominantes : C4-S1 et C5-S1. Ces dernières représentent des eaux médiocres fortement minéralisées, présentant des risques importants de salinisation des sols, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés(FAO, 2003).. Le diagramme de Wilcox (figure 3), couvrant toute la période d'observation montre également que les eaux souterraines du système appartiennent : à la classe médiocre et mauvaise.

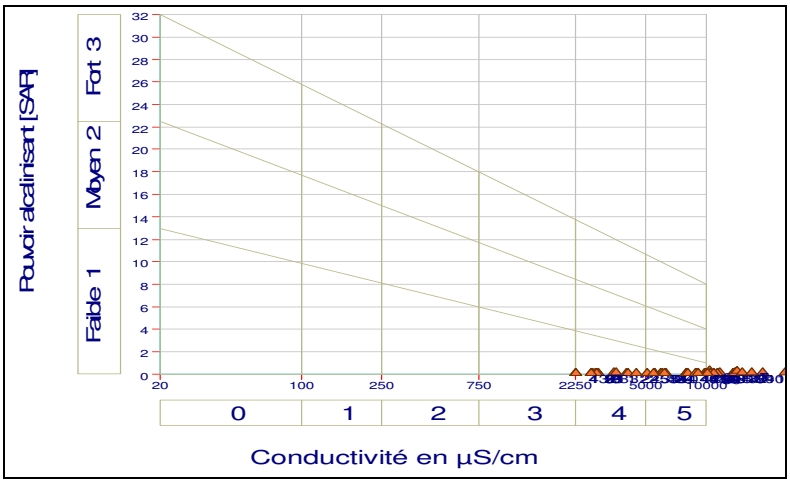

Figure 3: Diagramme de Richards

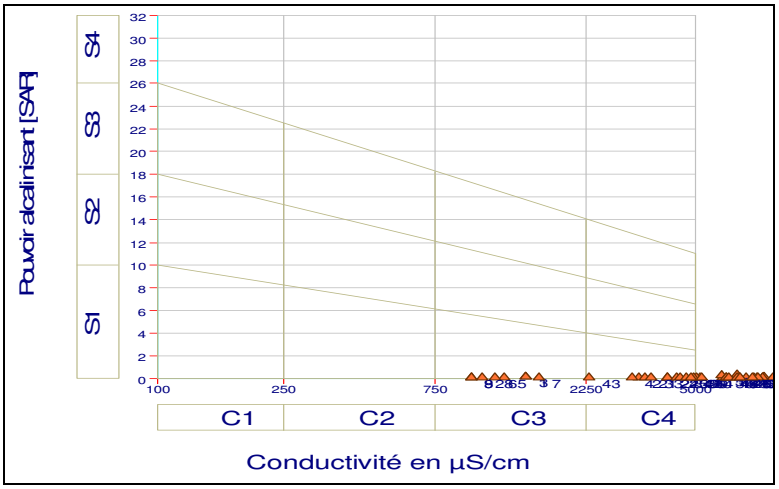

Figure 4 : Diagrammes de Wilcox

Dans la zone d'étude, le risque est double : la salinisation, problème majeur des eaux ; et la grande quantité de sodium et son effet sur la perméabilité du sol et l'infiltration de l'eau. L'origine de cette salinité est double : une salinité primaire en rapport direct avec l'aquifère et une salinité secondaire liée à la qualité des eaux d'irrigation et à la profondeur de la nappe. Cette salinisation est souvent accompagnée d'une sodisation (3,61<ESP<46,44), mais l'alcalinisation est absente (pH<8,5). Pour la plupart des sols, la perméabilité est, le plus souvent faible. Younsi (2001) et Debieche (2002) ont indiqué que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Tous ces termes sont combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle indice de perméabilité (IP) défini par la relation (Doneen, 1961) :

$$IP\,(\%) = 100\,\frac{Na^{+} + \sqrt{HCO_3^{-}}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+})}$$

L'indice de perméabilité calculé pour les eaux analysées s'étale entre 10 86%. Cette mauvaise perméabilité entrave l'apport d'eau à la culture. Elle rend beaucoup plus difficile les pratiques culturales sur les parcelles agricoles. Elle gène la levée suite à l'encroûtement de surface (seal) produit par l'engorgement du sol. Ces phénomènes s'accompagnent de toute une série d'inconvénients dont les maladies, la salinité, les mauvaises herbes et les problèmes d'aération et de nutrition (Maait, 1997). La dégradation de la qualité des sols et des eaux dans la zone étudiée, suite à l'irrigation, constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Les statistiques nationales ne fournissent pas de données suffisantes pour établir un rapport direct entre la salinité de l'eau d'irrigation, l'hydromorphie, et l'agriculture irriguée. Il n'existe, à notre connaissance, pas d'études montrant l'impact de ces facteurs sur la productivité agricole. Pour notre évaluation, nous nous sommes basés sur des visites de parcelles de terrain et sur les valeurs de la conductivité. Nous pouvons distinguer dans le bassin de la Grande Sebkha d'Oran deux grandes zones situées de part et d'autre du lac salé. Au Nord, la zone correspondant à la Plaine de Bou Yakor avec une salinité bien avancée et une surexploitation de la nappe. Cette région a connu durant ces dernières années une expansion économique et particulièrement agricole, suite à la mise en œuvre du Programme National de Développement de l'Agriculture (PNDA) lancé en juillet 2000. Cette action des pouvoirs publics a

contribué à une forte demande en eau, d'une part, et à exposer, d'autre part, les ressources en eau à différents types de pollution résultant de l'activité agricole. Il faudra aussi prendre en compte les effets contraignants de la Station de déminéralisation des eaux de Brédéah, destinées à l'alimentation en eau potable du groupement urbain d'Oran. En effet, depuis sa mise en service en 2004, l'usine de traitement des eaux rejetait ses saumures dans l'exutoire le plus proche. Ces sels, de nature essentiellement chloruré sodique, se seraient, compte tenu de leur forte solubilité, répandues sur les sols et diluées dans les eaux du sous-sol de la plaine. Cette situation catastrophique qui aurait duré pendant quelques années a donné un sérieux coup à l'environnement, particulièrement aux exploitations agricoles. On peut quantifier la perte de la productivité agricole en tenant compte des caractéristiques du sol, des précipitations et des systèmes de production appliqués dans chacune des zones. L'interprétation des résultats ne peut se faire sur la seule teneur en sodium, malgré ses effets indésirables sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur le comportement des cultures. Ces effets sont tributaires de la présence ou l'absence d'autres éléments. Les autres ions comme le calcium et le magnésium, dans les proportions rencontrées naturellement, maintiennent la structure des sols. Il se trouve aussi que le pourcentage moyen du sodium des eaux étudiées dépasse 50% par rapport à la somme totale des cations (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}). Or il a été observé, dans le Nord algérien, que le risque de sodicité devient effectif à partir de 45 à 50% de Na (Durand, 1960) ; lorsque les sols sont soumis à l'irrigation avec des eaux riches en sodium échangeable, d'une teneur au moins trois fois supérieure à celle du calcium (Ayers & Westcot, 1988). La sodicité de l'eau pose donc un problème pour les échantillons prélevés. Pour des valeurs données du SAR et du Na(%), le risque est d'autant plus élevé que l'eau d'irrigation est minéralisée (Landreau, 1987; Rhoades, 1992). Lorsque le sodium se trouve en grande quantité, il peut se substituer aux ions alcalino-terreux des argiles, en raison de sa fixation et de celle des chlorures par les colloïdes du sol, et défloculer ces dernières, entrainant la modification de la structure pédologique du sol. La taille des pores du sol diminue par gonflement des particules d'argiles, à l'origine de l'imperméabilité du milieu. De même, la dispersion des colloïdes amène les particules plus fines à se fixer dans les pores du sol et à colmater les couches superficielles ; ce qui rend le sol dur, compact et asphyxiant pour les plantes lorsqu'il est sec. Cette situation contribue aussi à diminuer encore la perméabilité déjà très faible pour les solutions percolantes. La perméabilité reste bonne tant que la solution saline percolante présente une charge élevée en électrolytes, charges maintenant les argiles en état floculé. Les régimes de salinité et d'alcalinité des sols (variations saisonnières) dépendent de l'ampleur des précipitations lixiviantes en hiver et au printemps et de la sécheresse en fin de cycle des cultures où le recours à l'irrigation est obligatoire. C'est ainsi que des sols non salés en hiver deviennent très salés en été, suite à l'accumulation provisoire des sels après irrigation et évapotranspiration. Cette notion de régime salin du sol mérite, à l'avenir, une attention particulière. En zone semi-aride et aride, l'irrigation des sols salins nécessite un apport d'eaux supérieur au besoin des cultures. Ce volume excédentaire lessive les sels et les repousse en profondeur. Il existe une méthode de prévision du volume de lessivage : habituellement utilisée (méthode classique, recommandée par la FAO), qui néglige la précipitation de minéraux à partir de la solution du sol. Initialement, la fraction de lessivage (FL) a été définie pour un calcul à long terme. Cependant, des travaux plus récents (Bresler & Hoffman, 1986) l'utilisent sur la durée d'une seule campagne. De même, les variations spatiales de la salinité, liée à l'hétérogénéité des apports d'eau sur la parcelle ne peuvent être prises en compte par la notion de FL (Miyamoto & Cruz, 1986, 1987). Le concept de fraction lessivant ainsi défini pose comme condition que l'eau drainée en dehors du profil soit en équilibre avec le sol. Les formules qui font intervenir les conductivités électriques ne peuvent être développées qu'une fois cette condition réalisée. Connaissant la

conductivité de l'eau d'irrigation CE_i et la conductivité électrique moyenne de l'extrait de pâte saturée à ne pas dépasser sur le profil racinaire CE_{esm}, il est donc possible d'établir une relation reliant CE_{esm} et CE_i à la fraction de lessivage (Rhoades, 1974). Pour cela, il est fait un certain nombre d'hypothèses :

- l'extrait à saturation et l'eau d'irrigation ont la même composition en surface,
- le régime permanent est atteint et la salinité ne varie plus d'une année à l'autre ;
- les conductivités sont proportionnelles aux concentrations ;
- la conductivité de l'extrait de pâte saturée est supposée égale à la moitié de celle de la solution du sol à la capacité au champ ;
- la profondeur utile du sol est divisée en quatre quarts et l'on suppose que 40% de l'eau évapotranspirée provient du premier quart, 30% du second, 20% du troisième et 10% du dernier ;
- l'eau d'irrigation ne dissout aucun minéral et ne participe à aucune précipitation.

Pour le cas du bassin de la Grande Sebkha d'Oran, les données que nous avons pu recueillir, ne nous permettent de satisfaire la deuxième et la quatrième condition.

CONCLUSION

Nous avons essayé d'évaluer, au terme de cette étude, l'évolution de la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation dans le bassin de la Grande Sebkha d'Oran. La viabilité de la plupart des exploitations agricoles localisées sur le pourtour du lac salé est conditionnée par l'existence d'un forage ou d'un puits. La salinisation primaire traduit l'effet de l'interaction eaux-roches (présence d'évaporites) du système aquifère, d'une part, et celui du couple évaporation-évapotranspiration qui agit par la concentration des eaux de la nappe phréatique proche de la surface du sol, d'autre part. La dégradation du milieu observée est la conséquence d'une salinisation secondaire, d'origine anthropique, par l'utilisation, dans l'ensemble des périmètres hydro-agricoles du bassin, d'une eau d'irrigation de forte salinité. En outre, l'épandage des saumures de l'usine de déminéralisation des eaux de Brédéah a largement contribué à l'accélération de cette dégradation en augmentant localement le taux de salinité des eaux de la nappe phréatique.

Les insuffisances relevées dans la gestion des périmètres irrigués du bassin sont :

- l'absence de périmètre de protection du système aquifère ;
- la réalisation anarchique d'ouvrages de captage (puits et forages) ;
- l'absence de contrôle régulier de la qualité des eaux d'irrigation ;
- l'existence d'un réseau de drainage peu développé et insuffisamment entretenu ;
- personnel technique insuffisamment qualifié.

Une eau fortement salée ne convient normalement pas à l'irrigation (Durand, 1960). Cependant, il est recommandé, dans ce cas de figure :

- de l'utiliser pour des cultures tolérant le sel ;
- de pratiquer des cultures sur des sols légers (sableux) ;
- de recourir à des apports d'eau supplémentaires pour le lessivage ;
- de mettre en place un réseau de drainage efficace.

REFERENCES

Ayers RS. et Westcot DW, 1988. La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. 29 Rév. 1, 165 p.

Boualla N, Benziane A, Charaoui F, 2011. Étude de l'état des eaux usées rejetées dans la grande sebkha d'Oran par l'analyse en composantes principales (ACP). Science Lib Éditions Mersenne : Volume 3, N ° 110507 ISSN 2111-4706.

Bresler E. et Hoffman GJ, 1986. Irrigation management for soi1 salinity control. Theories and tests. Soil Sci. Soc. Am. J., 50 : 1552-1559.

Durand JH, 1960. Contribution à l'étude des sols irrigués. L'évolution des sols sous l'influence de l'irrigation. Travaux des sections pédologie et agrologie, bulletin n°6, 13 p.

FAO, 1985. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29, Rev. 1, FAO, Rome (Italy).

FAO, 1989. Evaluation des terres pour l'agriculture irriguée : Directives. Bulletin pédagogique de la FAO n°55.

FAO, 2003. L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire Egypte. 68 p.

FAO, 2003. Gestion intégrée des ressources naturelles eaux et sols de l'Afrique du Nord - Synthèse et propositions. Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord. Tunis, 91 p.

Landreau A, 1987. La réutilisation des eaux usées épurées par le sol et le sous sol : Adéquation entre la qualité de l'eau, l'usage et la protection du milieu naturel. Séminaire sur les eaux usées et milieu récepteur, Casablanca (Maroc), 9-11 Avril. Chap. 5, pp. 1-13.

Maait J, 1997. La réutilisation des eaux usées en irrigation. Synthèse bibliographique. ENGREF de Montpellier.

Miyamoto S. Et Cruz I, 1987. Spatial variability of soi1 salinity in furrow irrigated Torrifluvents. Soil Sci. Soc. Am. J., 51: 1019-1025.

Oster JD. et Shainberg I, 2001. Soil reponses to sodicity and salinity: challenges and opportunities. Aust. J. Soil Res., 39:1219-1224.

Rhoades JO, 1974. Drainage for salinity control. In: Drainage for Agriculture. Van Schilfaarde J. (Ed.), Amer. Soc. Agronomy Monograph, 17: 433-462.

Rhoades JD, 1992. The use of saline waters for crop production. FAO irrigation and drainage paper n° 48, FAO, Rome.

Richards LA, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA, Agri. and book, p 60.

Sogreah, 2004. Rapport des études réalisées : géologie et tectonique, hydrologie, géophysique, hydrogéologie.

Wilcox LV, 1948. The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington DC.